

TEC | Tecnológico  
de Costa Rica

**CIVCO**

Centro de Investigaciones  
en Vivienda y Construcción

# Guía para la evaluación de puentes

**Material recopilado y preparado por:**

Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes  
Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción  
Escuela de Ingeniería en Construcción  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Autores:**

Giannina Ortiz Quesada · Gerardo Páez González · Angel Navarro Mora  
Alejandro Alfaro Acuña · César Garita Rodríguez

Febrero, 2024



9 781234 567897

# Tabla de contenidos

Introducción.....	4
Marco conceptual.....	5
Definición de BHI.....	5
Métodos de cálculo BCI.....	5
Metodología para la evaluación de puentes carreteros.....	7
Conceptos.....	7
Inspección visual.....	8
Paso 1. Inventario.....	9
Paso 2. Inspección visual de daños.....	12
Paso 3. Cálculo de indicadores [8].....	13
3.1.1. Índice de condición de la estructura (BCI).....	14
Cálculo del BCI.....	15
3.1.2. Índice de condición sísmica (SCI).....	16
3.1.3. Índice de condición hidrometeorológica (HCI).....	18
3.1.4. Índice de importancia socioeconómica (SEI).....	19
Cálculo BHI.....	20
Paso 4. Análisis de BCI para agrupar por tipo de intervención.....	20

Paso 5. Inspección detallada.....	22
Análisis de antecedentes.....	22
Análisis de la evaluación visual de daños.....	22
Levantamiento en sitio de la estructura.....	23
Definir y ejecutar el enfoque de la inspección.....	23
Establecimiento de las intervenciones a realizar.....	23
Paso 5.1. Análisis de patologías.....	23
Paso 6. Análisis de riesgo.....	26
Paso 7. Recomendación de intervención.....	26
Recomendaciones finales.....	26
Bibliografía.....	27
Apéndices.....	28
Fichas del indicador BCI.....	28
Formularios MOPT.....	29

---

# Introducción

La condición de la infraestructura vial es una gran debilidad socioeconómica de nuestro país. Según los Reportes de Competitividad Mundial, Costa Rica ocupa puestos del punto medio hacia abajo siendo la infraestructura vial es una de las 3 grandes debilidades que el país viene arrastrando desde hace más de 15 años.

Por otro lado, de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública, nuestro país es la cuarta economía más competitiva de América Latina, pero está rezagada en el tema de infraestructura de transporte y entorno macroeconómico. [1].

Costa Rica es un país en desarrollo, con recursos limitados y que enfrenta en este momento un enorme problema fiscal, lo que exige que se haga una correcta priorización de los proyectos de infraestructura vial, para conseguir los recursos e invertirlos de la forma más eficiente posible. Para poder realizar la priorización de estas intervenciones, primero es necesario conocer de forma precisa la condición de vías y el caso particular de puentes, los cuales son un elemento primordial en el funcionamiento de la infraestructura vial.

En el caso de estructuras de puentes, según evaluaciones realizadas por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica, bajo el contrato TEC-CONAVI, un 97% de los puentes analizados en rutas nacionales presenta una condición regular o deficiente, e incluso más de la mitad no cumple con criterios aceptables de seguridad vial. Durante el periodo 2014-2018, se realizó el inventario de 1670 puentes y la inspección visual de daños para cada uno de estos, lo que permite tener una visión más clara de la condición de los puentes en rutas nacionales. Sin embargo, el resultado indica que solo un 3% de los puentes cuenta con una condición satisfactoria, la

cantidad de puentes que deben ser intervenidos es superior a los 1600 puentes, de los cuales unos 600 requieren intervención en el corto plazo. [2]

El Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), posee un sistema de administración de puentes denominado SAEP (Sistema de Administración de Estructuras de Puentes), este sistema tiene una metodología tipo jerárquica para priorizar las intervenciones de los puentes inspeccionados, basado únicamente en inspecciones visuales y su condición estructural, sin embargo, esta metodología no incorpora otras variables que puedan afectar la salud de una estructura [3].

Por lo que el TEC desarrolló una investigación analizando diferentes metodologías y formas de determinar un índice de condición estructural aplicadas a nivel internacional, con el fin de proponer un índice de salud (BHI) que incorpore variables del entorno adicional a las condiciones estructurales y adaptada a las condiciones de Costa Rica.

Adicionalmente, se valoró que la toma de decisiones y la asignación de recursos para las intervenciones de puentes no toman en cuenta la identificación adecuada y estandarizada de las causas de los daños encontrados en las inspecciones visuales de los puentes, lo que se evidencia en el estado actual de las estructuras.

Por lo que también se trabajó en una metodología que permita identificar las causas de los daños identificados en las evaluaciones visuales y los índices de salud de puentes valorados como inaceptables o deficientes, utilizando técnicas o ensayos no destructivos.

# Marco conceptual

## Definición de BHI

El BHI o índice de salud, se interpreta como un índice que evalúa el desempeño de un puente, desde la perspectiva estructural o funcional [4]. Los principales usuarios de estos índices son los administradores de puentes, para el seguimiento a los objetivos de un plan de gestión de puentes, priorización de proyectos de mantenimiento o reemplazo de puentes o identificar qué estructuras en el inventario están más deterioradas y necesitan urgentemente reparaciones.

## Métodos de cálculo BCI

Basado en el enfoque computacional utilizado, los métodos actuales para desarrollar índices de condición o salud se pueden agrupar en los siguientes cuatro grupos: [4]

- **Método basado en proporciones:** Los métodos basados en proporciones asignan un BCI o número de condición de puente (BCN) basado en el porcentaje de la condición actual a la condición de la estructura cuando era nueva. El objetivo de este método es calcular el valor restante del puente. El BHI de California y el método del índice de salud utilizado por el software de gestión de puentes AASHTOWARE™, BrM (anteriormente Pontis).
- **Método basado en promedios ponderados:** El enfoque de promedio ponderado es adecuado para planificar el mantenimiento del puente y las actividades de rehabilitación. El enfoque estima la condición de toda la estructura combinando las clasificaciones de condición de todos los elementos individuales del puente ponderados por su importancia o contribución

a la integridad estructural del puente. Este enfoque es común en sistemas que dependen de datos de inspección a nivel de elemento. Los BCI utilizados en Australia (BCN), el Reino Unido (BCI), Sudáfrica (BCI) y Austria (BCI) son los ejemplos de enfoques de combinación ponderada.

- **Método de componente en peor condición:** El enfoque de componentes en peor condición es común en los sistemas que realizan inspecciones en los componentes clave del puente. Este método se utiliza para extraer los defectos críticos en los componentes del puente. En este enfoque, el BCI se aproxima a la calificación del componente en la peor condición. Algunos estados también usan la peor (más baja) calificación del Inventario Nacional de Puentes (NBI) para informar las condiciones del puente en los paneles de control de desempeño. El Departamento de Transporte de Michigan utiliza la calificación NBI más baja en su Sistema de Pronóstico de Condición de Puente (BCFS). BCFS ayuda a Michigan con las decisiones de selección de proyectos de puentes. Las ICC alemanas y japonesas son ejemplos de este enfoque.
- **Métodos cualitativos:** Los métodos cualitativos no informan la condición del puente en una escala numérica. Describen una estructura como “Pobre”, “Aceptable” o “Buena”, según el estado de la condición y la importancia de los elementos bajo investigación. Washington, Florida y otros estados usan las clasificaciones de condición del NBI para clasificar los puentes como “Bueno”, “Aceptable” o “Malo”. El indicador de salud del puente utilizado por Roads and Maritime Services (fusión de Roads and Traffic Authority y New South Wales Maritime) en Sydney, Australia, es un ejemplo de la utilización de este método.

- **Combinación de métodos:** Hay otros BHI que se desarrollaron combinando algunos de los métodos enumerados anteriormente. Un ejemplo, son las calificaciones de suficiencia (SR), que combinan el promedio ponderado y los enfoques del componente de peor condición. El SR se utilizó en las decisiones de financiamiento. Además, en este informe también se

analiza un método de priorización basado en el riesgo que el Departamento de Transporte de Nueva Jersey (NJDOT) está probando actualmente. Este enfoque combina diferentes estados límite de rendimiento para calcular el riesgo relativo percibido para cada puente.

**Tabla 1.** Resumen de los principales BCI y su método de cálculo [4]

Nombre del índice	Método de cálculo
California BHI	Basado en proporciones
United Kingdom´s BCI	Basado en promedios ponderados
South Africa´s BCI	Basado en promedios ponderados
Australia´s BCI	Basado en promedios ponderados
Austria´s BCI	Basado en promedios ponderados
Finnish Bridge Condition Rating	Basado en promedios ponderados
Germany´s BCI	Componente de peor condición
Japan´s BCI	Componente de peor condición
Australia´s Bridge Health Indicator	Método cualitativo
Austria´s Qualitative	Método cualitativo
Bridge Sufficiency Rating	Combinación de varios parámetros
Risk-Based Assessment Framework	Combinación de varios factores de riesgo

# Metodología para la evaluación de puentes carreteros

La metodología de evaluación de puentes que se presenta a continuación pretende colaborar con los administradores de puentes para una adecuada gestión de la infraestructura, siendo una herramienta para priorizar las intervenciones, utilizando los instrumentos y la información disponible en el país, como lo es el Manual de Inspección de Puentes del MOPT. Es el resultado de investigaciones realizadas por el grupo de investigación eBridge, el Programa de Evaluación de Puentes del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica. Esta metodología es aplicable a puentes carreteros.

## Conceptos

La **evaluación** de una estructura de puente es la valoración del desempeño de este en un momento determinado y la identificación de daños y fallas en la estructura. En una evaluación se obtiene la información técnica necesaria, se identifica su deterioro y se puede planificar un mantenimiento o la rehabilitación de la infraestructura.

El **daño** en una estructura se define como cambios en los materiales, en sus propiedades geométricas, en las propiedades de los sistemas, sus condiciones de frontera o conectividad. Los daños pueden afectar el desempeño actual o futuro de las estructuras

Estos daños deben ser identificados para poder evaluar y saber su estado:

1. **Detección del daño:** es cuando se identifica la presencia de un daño.
2. **Localización del daño:** es cuando se localiza el daño.
3. **Tipificación del daño:** es cuando se determina el tipo de daño.
4. **Extensión del daño:** es cuando se evalúa la severidad del daño.

Una **falla** es la condición de un puente cuando un estado límite es alcanzado o excedido, Las fallas que ocurren en las estructuras se pueden clasificar por la fabricación o el diseño, esta puede ser por no tener los cálculos correspondientes; y en fallar por los materiales, también esta las fallas por los materiales que pueden ser por ocupar materiales inapropiados o por la falta de calidad de estos. También están las fallas por construcción por la deformación o defectos de la formaleta; fallas por el incremento de cargas, más de las que esta soporta y las de mantenimiento por no darle un mantenimiento, reparación, rehabilitación o refuerzo a la estructura. [5]

## Inspección visual

La inspección visual es uno de los procesos iniciales para la evaluación y monitoreo de las estructuras, para poder analizar a simple vista, en qué condiciones y lugares se trabajará y luego hacer una inspección más detallada, haciendo un inventario y asignando una calificación, para después proceder si esta necesita una rehabilitación o intervención; las inspecciones pueden ser:

- Inspección inicial
- Inspecciones de rutina

- Inspección de daños
- Inspecciones avanzadas
- Inspección de miembros críticos
- Inspecciones bajo el agua
- Inspecciones especiales

La metodología que se propone a continuación contempla estos diferentes enfoques, estandarizando el proceso para su aplicación a diversos tipos de puentes carreteros.



**Figura 1.** Metodología para la evaluación de puentes carreteros

En esta metodología el proceso de inspección es muy importante, por lo que se requiere un buen control y aseguramiento de la calidad. En Costa Rica este control y aseguramiento de la calidad, puede hacerse mediante la exigencia de que las inspecciones sean realizadas por organismos de inspección acreditados mediante la norma INTE/ISO:17020-2012.

Es importante, también, determinar los requerimientos de información, seleccionar el equipo de inspección y las actividades requeridas. Se recomienda revisar al menos estos puntos:

- Revisar el expediente del puente (si existe)
- Identificar los componentes y elementos a inspeccionar
- Desarrollar una secuencia de inspección
- Preparar y organizar notas, formularios y bocetos
- Organizar el control temporal del tráfico
- Organizar áreas de preparación y ubicaciones de acceso
- Revisar los requerimientos de seguridad
- Organizar herramientas y equipos
- Organizar de actividades especiales de subcontratación
- Tener en cuenta otras consideraciones especiales

## Paso 1. Inventario

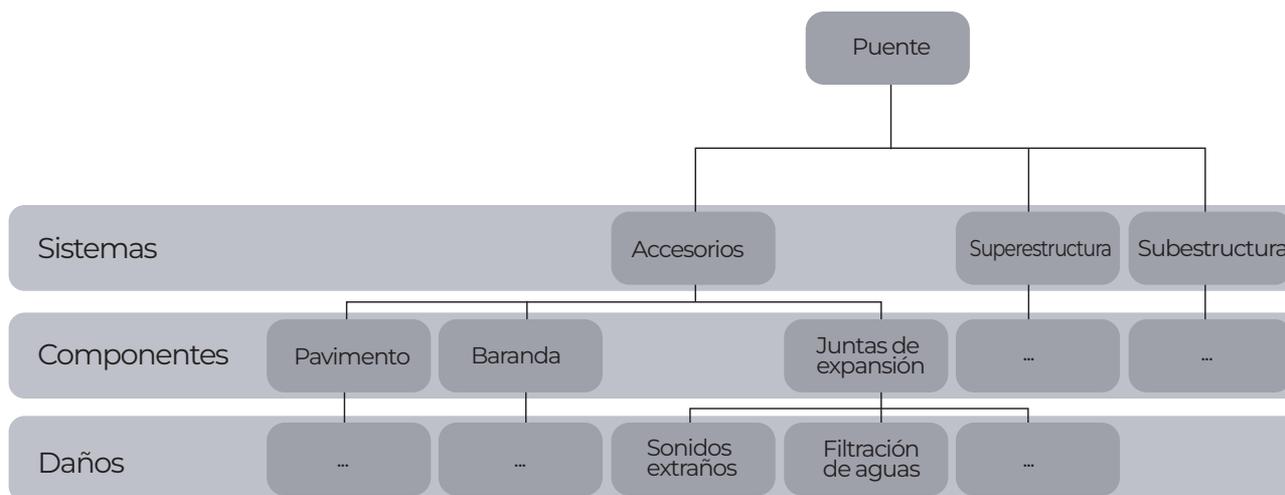
El primer paso para la evaluación de puentes es la realización del in-

ventario de la estructura, este se hará de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, 2007. Este paso se realizará cada vez que se presente un cambio en la estructura. [6]

El Manual de Inspecciones del MOPT, fue publicado en el 2007 y fue producto de una cooperación internacional con Japón por medio de JICA; y la actualización del Capítulo 5 publicado en el 2014. Este manual contiene:

- Capítulo 1 Introducción
- Capítulo 2 Responsabilidades del inspector de puentes
- Capítulo 3 Información general sobre el inventario e inspección periódica de puentes
- Capítulo 4 Descripción de los formularios de inventario e inspección de puentes
- Capítulo 5 Guía de recopilación de datos
- Capítulo 6 Lineamientos para la calificación del grado de deterioro del puente

El inventario del puente debe incluir toda la información relacionada con su ubicación, características de diseño, planos constructivos, geometría, tipología, materiales y se analiza bajo el siguiente esquema:



**Figura 2.** Esquema de elementos a inspeccionar en puentes carreteros

Para este inventario deben completarse los siguientes formularios:

- Formulario-1 Inventario básico del puente. Características generales
- Formulario-2 Inventario básico del puente. Detalle de superestructura
- Formulario-3 Inventario básico del puente. Detalle de subestructura

- Formulario-4 Inventario básico del puente. Planos
- Formulario-5 Inventario básico del puente. Fotografías

Adicionalmente y dado que hay puentes que no cuentan con planos, se debe realizar un levantamiento detallado de la estructura.

Esta información puede almacenarse en SAEP, administrado por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y generar los respectivos informes.

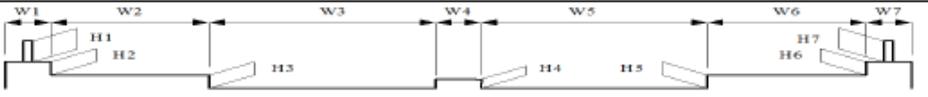
INVENTARIO DE PUENTE										Página 1 de 10				
NOMBRE DEL PUENTE	RIO PATASTE			LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	ALAJUELA	ENCARGADO	ZONA 6-2 LOS CHILES-GUATUSO			DÍA	MES	AÑO	
RUTA N°	4	RUTA	PRIMARIO		CANTÓN	SAN CARLOS	LATITUD NORTE	10.0°	34.0°	6.59°	FECHA DE DISEÑO			
KILÓMETRO	87.31 km				DISTRITO	MONTERREY	LONGITUD OESTE	84.0°	40.0°	2.79°	FECHA DE CONSTRUCCIÓN			
ELEMENTOS BÁSICOS				UBICACIÓN				VISTA PANORÁMICA						
DIRECCIÓN DE LA VÍA HACIA	GUATUSO													
TIPO DE ESTRUCTURA	PUENTE													
CARGA VIVA	NO SE TIENE INFORMACIÓN													
LONGITUD TOTAL	22.6 m													
ESPECIFICACIÓN	NO SE TIENE INFORMACIÓN													
No. DE SUPER ESTRUCTURA	1													
No. DE TRAMOS	1													
No. DE SUBESTRUCTURA	2													
LONGITUD DE DESVÍO	72.12 km													
PENDIENTE LONGITUDINAL	0.0 %													
SERVICIOS PÚBLICOS	1	AGUA			INSPECCIÓN VISUAL DE DAÑOS REALIZADAS									
	2				DÍA	MES	AÑO	INSPECTOR			TIPO DE INSPECCIÓN			
	3				6	9	2014	MAURICIO CARRANZA			INSPECCION INVENTARIO			
	4													
CRUZA SOBRE	1	RIO PATASTE												
	2													
PAVIMENTO	TIPO		SIN SUPERFICIE DE											
	ESPESOR	ORIGINAL	0.0 mm											
		SOBRE CAPA	0.0 mm											
CONTEO DE TRAFICO	AÑO		2013											
	TOTAL DE VEHICULOS		1988.0											
	% VEHICULOS PESADOS		25.41											
RESTRICCIONES	POR CARGA		0.0 t											
	POR ALTURA		0.0 m											
	POR ANCHO		0.0 m											
CLARO LIBRE														
ALTURA LIBRE VERTICAL	SUPERIOR	0.0 m		ANCHO VIA ACCESO	6.7 m									
	INFERIOR	4.95 m												
DIMENSIONES														
ANCHO TOTAL		4.3 m			CALZADA		4.3 m							
ITEMS	1	2	3	4	5	6	7							
W(m)	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
H(m)	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8						

Figura 3. Ejemplo de inventario de puente

El Manual de Inspección de Puentes se enfoca en estructuras tipo viga de concreto y acero y para otras tipologías debe de realizarse una adaptación.

## Paso 2. Inspección visual de daños

La inspección de daños se realizará de forma visual y puede ser apoyada por drones u otras herramientas para la toma de datos, se hará de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, 2007 (Capítulo 6). Incluye el levantamiento de daños de la estructura y las condiciones del entorno. El levantamiento de daños se debe realizar al menos cada 2 años. Esta información se almacenará en una base de datos.

Los formularios que deben completarse son:

- Formulario-6 Inspección del puente. Grado de daño
- Formulario-7 Inspección del puente. Fotografías

El manual evalúa 15 elementos y un promedio de 83 daños en total. La escala de evaluación varía de 1 a 5, donde 1 es la mejor valoración y 5 la peor, para cada daño en cada elemento existe una tabla que permite asignar el puntaje.

Grado del daño	Descripción
1	No se observa oxidación en el elemento
2	Se observa comienzos de oxidación
3	20% del elemento está cubierta con oxidación
4	50% del elemento está cubierta con oxidación
5	Más del 50% de la superficie del elemento está cubierto con oxidación

**Figura 4.** Valoración para el daño de oxidación para barandas de acero

Es importante desarrollar experiencia, para establecer un criterio minucioso, objetivo y homogéneo según la metodología.

Estos valores son fundamentales para los pasos siguientes de la metodología y el cálculo de los indicadores.

INSPECCIÓN DE PUENTE				NÚMERO DE SUPERESTRUCTURA				Página 1 de 4						
NOMBRE DEL PUENTE	RIO PATASTE			LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	ALAJUELA	ENCARGADO	ZONA 6-2 LOS CHILES-GUATUSO			DÍA	MES	AÑO	
RUTA N°	4	RUTA	PRIMARIO		CANTON	SAN CARLOS	LATITUD NORTE	10.0°	34.0'	6.59"	FECHA DE DISEÑO			
KILOMETRO	87.31 km				DISTRITO	MONTERREY	LONGITUD OESTE	84.0°	40.0'	2.79"	FECHA DE CONSTRUCCIÓN			
TIPO DE DAÑO Y EVALUACIÓN DEL GRADO DE DAÑO														
1. PAVIMENTO	ITEM	1. ONDULACIÓN	2. SURCOS	3. AGRIETAMIENTO	4. BACHES	5. SOBRECARGAS DE ASFALTO								
	EVALUACIÓN	0	0	0	0	0								
2. BARRANDA (ACERO)	ITEM	1. DEFORMACIÓN	2. OXIDACIÓN	3. CORROSIÓN	4. FALTANTE									
	EVALUACIÓN	1	2	1	1									
3. BARRANDA (CONCRETO)	ITEM	1. AGRIETAMIENTO	2. ACERO DE REFUERZO EXPUESTO	3. FALTANTE										
	EVALUACIÓN	0	0	0										
4. JUNTA DE EXPANSIÓN	ITEM	1. SONIDOS EXTRAÑOS	2. FILTRACIÓN DE AGUAS	3. FALTANTE O DEFORMACIÓN	4. MOVIMIENTO VERTICAL	5. JUNTAS	6. ACERO DE							
	EVALUACIÓN	1	4	1	1	5	1							
5. LOSA	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUERZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. FLORESCENCIA	7. AGUJEROS						
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	1	1						
6. VIGA PRINCIPAL DE ACERO	ITEM	1. OXIDACIÓN	2. CORROSIÓN	3. DEFORMACIÓN	4. PÉRDIDA DE PERNOS	5. GRIETAS EN SOLDADURA O PLACA								
	EVALUACIÓN	0	0	0	0	0								
7. SISTEMA DE ARROSTRAMIENTO	ITEM	1. OXIDACIÓN	2. CORROSIÓN	3. DEFORMACIÓN	4. ROTURA DE UNIONES	5. ROTURA DE ELEMENTOS								
	EVALUACIÓN	0	0	0	0	0								
8. PINTURA	ITEM	1. DECOLORACIÓN	2. AMPOLLAS	3. DESCASCARAMIENTO										
	EVALUACIÓN	0	0	0										
9. VIGA PRINCIPAL DE CONCRETO	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUERZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. FLORESCENCIA							
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	3							
10. VIGA DIAFRAGMA CONCRETO	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUERZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. FLORESCENCIA							
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	4	2							
11. APOYOS	ITEM	1. ROTURA DE APOYOS	2. DEFORMACIÓN EXTRAÑA	3. INCLINACIÓN	4. DESPLAZAMIENTO									
	EVALUACIÓN	2	1	1	1									
12. PARED CABEZAL Y ALETONES (BASTIONES)	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUERZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. FLORESCENCIA	7. PROTECCIÓN DE TERRAPLEN						
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	2	1						
13. CUERPO PRINCIPAL (BASTIÓN)	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUERZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. FLORESCENCIA	7. PENDIENTE EN TALUDES	8. INCLINACIÓN	9. SOCAVACIÓN				
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	1	3	1	1				
14. MARTILLO (PILA)	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUERZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. FLORESCENCIA							
	EVALUACIÓN	0	0	0	0	0	0							
15. CUERPO PRINCIPAL (PILA)	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUERZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. FLORESCENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN					
	EVALUACIÓN	0	0	0	0	0	0	0	0					
EVALUACIÓN		GRADO DEL DAÑO		SOCAVACIÓN										
1	Ningún daño visible	No se observa socavación												
2	En pocos lugares	No aplica												
3	En muchos lugares	Se observa socavación pero no se extiende a la fundación												
4	En menos de la mitad	No aplica												
5	En la mayoría de las partes	La fundación aparece por la socavación												
FECHA INSPECCIÓN:		NOMBRE INSPECTOR:		FIRMA:										
6	9	2014	MAURICIO CARRANZA											

Figura 5. Resumen de daños por elemento, de acuerdo con el formulario 6

Es importante en este paso la competencia del inspector y el contar con los procedimientos claros para la valoración de daños de la estructura.

### Paso 3. Cálculo de indicadores [8]

Con base en la información recopilada de campo y almacenada en la base de datos de puentes, se calcularán los indicadores para cada puente, estos incluyen:

- Índice de Salud (BHI)
- Índice de Condición (BCI)
- Índice de Condición Sísmica (SCI)
- Índice de Condición Hidrometeorológica (HCI)
- Índice de Importancia Socioeconómica (SEI)

Como complemento se debe realizar una evaluación de los componentes de seguridad.

### 3.1. Índice de Salud (BHI)

**Definición:** El BHI es un índice de evaluación del desempeño de un puente, que contempla la perspectiva de la condición estructural del puente, basado en una inspección visual, el nivel de riesgo asociado al entorno y la importancia socioeconómica.

**Posibles usuarios:** Administradores de puentes, en Costa Rica se identifican como posibles usuarios: MOPT, CONAVI, Municipalidades.

**Posibles usos:** Establecer un nivel de daño de los puentes y priorizar sus necesidades de intervención.

El BHI toma en cuenta el estado estructura y factores de riesgo y se calculará con base a promedios ponderados, los cuales fueron definidos por un grupo de expertos.

#### 3.1.1. Índice de condición de la estructura (BCI)

La condición de la estructura se calcula con base en los resultados de la inspección visual de daños realizada en cada puente. Esta evaluación se refiere a la evaluación de la seguridad estructural de cada componente y elemento del puente de forma visual.

Para la evaluación se utilizó la siguiente estructuración:

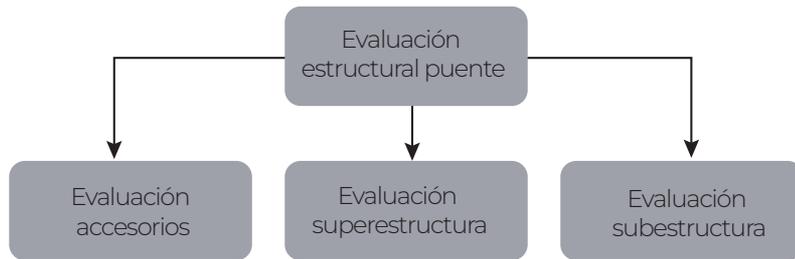
**Tabla 02.** Estructuración para la evaluación estructural

Sistema	Componente	Elemento
Puente	Accesorios (*)	Pavimento Juntas de expansión
	Superestructura (**)	Losa Elementos principales Elementos secundarios
	Subestructura (***)	Apoyos Bastiones Pilas

(\*) En los accesorios, no se consideró la evaluación de las barandas, ya que estas se evaluaron en la condición de seguridad vial.

(\*\*) En la superestructura se está agrupando a evaluar elementos principales (vigas de acero y vigas de concreto) y elementos secundarios (elementos de arriostre y vigas diafragmas).

(\*\*\*) En la subestructura, se analizaron los apoyos, para lo cual se propuso una escala de valoración, bastiones y pilas.



**Figura 6.** Componentes por considerar en la evaluación de la condición estructural

La evaluación de cada elemento se realiza considerando el nivel de importancia de cada daño sobre la seguridad estructural del elemento, esto se definió utilizando el método Delphi.

Pavimento	Ondulación	Surcos	Baches	Sobrecargas de asfalto	Sumatoria	Peso
Ondulación		1	0	0	2	0.2000
Surcos	0		0	0	1	0.1000
Baches	1	1		0	3	0.3000
Sobrecarga de asfalto	1	1	1		4	0.4000
					10	1.0000

**Figura 6.** Ejemplo de ponderación para daños en pavimento

### Cálculo del BCI

Basándose en la BD, se calcularon los siguientes indicadores de condición: Índice de Condición de los Accesorios (BCI-Acc), Índice de Condición de la Superestructura (BCI-Sup), Índice de Condición de la Subestructura (BCI-Sub) y finalmente el Índice de Condición del puente (BCI) el cual contempla los anteriores.

El índice está concebido para mostrar valores finales en un rango de 1 a 5 como evaluación de un puente.

El índice está compuesto por una estructura jerárquica de: componentes, elementos, y daños.

### Daño:

En el nivel más bajo del índice, existe un conjunto de valores asociados al nivel de daño de variables asociadas al estado de un elemento particular. Los valores se definen en una escala de 1 a 5 de acuerdo con rúbricas establecidas en tablas de inspección de daños que se utilizan en las inspecciones técnicas de los puentes.

### Elemento:

Los elementos corresponden con partes estructurales específicas de un puente. Cada elemento considera cierta cantidad de variables de daño con respectivo valor y peso. La suma de los pesos de los daños para un elemento es igual a 1. Algunos elementos pueden estar o no presentes, o variar su ponderación, según el tipo de puente que se está analizando.

$$elemento_i = \sum_{k=1}^n \text{valor da\~{n}o}_k * \text{peso da\~{n}o}_k$$

### Componente:

Los componentes representan una clasificación o agrupación conceptual de los elementos de un puente. Cada componente a su vez considera una ponderación de los elementos que incluye, considerando la evaluación y peso de cada elemento. La suma de los pesos de los elementos es igual a 1.

$$componente_i = \sum_{k=1}^n \text{evaluacion elemento}_k * \text{peso elemento}_k$$

Finalmente, se tiene la siguiente fórmula para el cálculo del BCI:

$$BCI = 5\% BCI \text{ accesorios} + 45\% BCI \text{ superestructura} + 50\% BCI \text{ subestructura}$$

Para este cálculo se sugiere contar con una hoja de cálculo.

Los valores del BCI representan la condición de la estructura y se pueden agrupar de la siguiente forma:

Valor de BCI	Código de color	Clasificación	Descripción
1 a 2		<b>Satisfactoria</b>	La estructura no presenta ningún daño visible o el deterioro es mínimo.
2 a 3		<b>Aceptable</b>	La estructura presenta daños menores de forma puntual en elementos principales.
3 a 4		<b>Inaceptable</b>	La estructura presenta daños mayores en elementos principales de forma puntual.
4 a 5		<b>Deficiente</b>	La estructura presenta daños mayores de forma generalizada en elementos principales.

### 3.1.2. Índice de condición sísmica (SCI)

Para determinar este riesgo se calcula la amenaza sísmica y el cumplimiento de la estructura con el ancho de asiento mínimo, para calcular finalmente la criticidad por sismo.

Para calcular la amenaza sísmica, se requiere determinar la aceleración pico efectiva ( $C_a$ ), esta se obtiene de la tabla que se muestra a continuación, la cual es parte de los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes. [7]

Coeficientes sísmicos espectrales	$C_a$		
	Zona de amenaza sísmica		
Sitio de cimentación	II	III	IV
$S_1$	0.240	0.360	0.480
$S_2$	0.287	0.374	0.480
$S_3$	0.317	0.410	0.490
$S_4$	0.360	0.367	0.432

**Figura 7.** Valores para determinar el coeficiente sísmico espectral. [7]

Una vez calculado el  $C_a$ , se calcula la aceleración pico efectiva modificada por presencia de fallas activas cercanas, esta se calcula de la siguiente forma:

$$CaM = \text{Coeficiente} \times Ca$$

El valor del coeficiente es 1.2 si hay fallas activas cercanas y 1 si no hay fallas activas cercanas, la fuente para determinar la existencia de fallas es la Comisión Nacional de Emergencias y Prevención, publicada en sus mapas de amenazas y el Código de Cimentaciones de Costa Rica.

Posteriormente se calcula la amenaza sísmica con la siguiente fórmula:

$$\text{Amenaza sísmica} = \frac{CaM}{0,588} \cdot 4 + 1$$

Por otra parte, se determina si el ancho de asiento que tiene el puente cumple con los requerimientos mínimos, para ello se mide el ancho de asiento en sitio y se compara con la siguiente fórmula, establecida en los Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes. (CFIA, 2013). Esta ecuación es una simplificación para estimar el ancho de asiento en un puente de un solo tramo. Sin embargo, se utiliza esta de forma generalizada, como una estimación preliminar de la vulnerabilidad del puente asociada a esta variable.

$$N = I (305 + 2.50L) (1 + 0.000125S^2) \text{ (CFIA, 2013)}$$

Donde:

N: Longitud de asiento mínima (mm)

I: Factor de importancia

L: Longitud de la superestructura

S: Angulo de sesgo del apoyo medido a partir de una línea normal al claro (en grados)

El valor de la importancia, también, se obtiene de los lineamientos:

Clasificación de importancia	Descripción	Factor de importancia operacional I
Puentes críticos	<p>Puentes que se requiere estén en funcionamiento después de un sismo y son fundamentales para la actividad económica a nivel regional o nacional.</p> <p>Puentes a lo largo de rutas estratégicas (vías de acceso hacia hospitales, puertos, fronteras y aeropuertos).</p> <p>Puentes a lo largo de rutas cantonales en zonas urbanas importantes que conectan con rutas estratégicas.</p> <p>Puentes que son requeridos para mantener los servicios públicos esenciales tales como el suministro de electricidad, agua e hidrocarburos.</p> <p>Puentes con un costo de construcción que excede los US\$10 millones (al 2012).</p> <p>Puentes a lo largo de rutas primarias sin rutas alternas similares.</p>	1.25
Puentes esenciales	<p>Puentes diseñados para soportar volúmenes importantes de tráfico o puentes a lo largo de rutas secundarias sin rutas alternas similares que no cumplen con los requisitos para puentes críticos.</p> <p>Puentes a lo largo de rutas primarias y secundarias con un tránsito promedio diario (TPD) &gt; 5000 vehículos que no clasifican como puentes críticos.</p>	1.00
Puentes convencionales	<p>Puentes a lo largo de rutas primarias, secundarias y terciarias y caminos cantonales que no cumplen con los requisitos para puentes críticos y esenciales.</p>	1.00
Otros puentes	<p>Puentes temporales (vida útil menor o igual a 3 años).</p> <p>Puentes que brindan acceso a propiedades privadas o a lo largo de caminos dentro de dichas propiedades que no cruzan sobre vías nacionales o cantonales y cuya falla no genere perjuicios a otros y que no son críticos para mantener las comunicaciones.</p>	0.80

Figura 8. Clasificación y valor de importancia operacional. [7]

Para el cumplimiento se compara el ancho de asiento real con el mínimo requerido, se anota 1 si cumple y 5 si no cumple.

Finalmente, el SCI, será el máximo valor entre el cumplimiento de ancho de asiento y la amenaza sísmica.

En resumen, la calificación del SCI se resume de la siguiente forma:

Valor de SCI	Código de color	Descripción
1 a 2		La estructura presenta una amenaza sísmica baja
2 a 3		La estructura presenta una amenaza sísmica media
3 a 4		La estructura presenta una amenaza sísmica media-alta
4 a 5		La estructura presenta una amenaza sísmica alta

### 3.1.3. Índice de condición hidrometeorológica (HCI)

Se entiende condición hidrometeorológica a la amenaza que presenta la estructura por temas hidrológicos. Para lograr el cálculo de este índice es necesario la recopilación de información adicional

Para determinar el riesgo hidrometeorológico, se calcula la amenaza de inundación, la relación del ancho del cauce aguas arriba y aguas abajo, para finalmente calcular la criticidad hidrometeorológica.

En primer lugar, se define si la zona donde se encuentra el puente es inundable o no, la fuente recomendada es la Comisión Nacional de Emergencias y Prevención o la información establecida en el Plan GAM 2030. Si la zona es inundable se asigna un valor de 5, si no se asigna un valor de 1.

Posteriormente se calcula el estrechamiento del cauce, este cálculo se toma del informe del proyecto de extensión "Priorización de estructuras de puentes utilizando indicadores de desempeño. Plan

piloto Municipalidad de El Guarco. 2018-2019", realizado por este grupo de investigación, realizando una adaptación a las condiciones que el inspector pueda observar durante la ejecución de una inspección visual de daños

$$\text{Estrechamiento del cauce} = \frac{\text{Ancho del cauce aguas arriba}}{\text{Ancho del cauce aguas abajo}}$$

Con este cálculo, se determina el valor del indicador en un rango de 1 a 5, para ello se utiliza la tabla 3.

**Tabla 3.** Escala de calificación para estrechamiento del cauce

Valor del estrechamiento del cauce (E)	Calificación
$1.5 < E$	5
$1.3 < E \leq 1.5$	4
$1.1 < E \leq 1.1$	3
$0.9 < E \leq 1.1$	2
$E \leq 0.9$	1

Otro elemento que se valora para determinar el riesgo hidrometeorológico es la altura libre inferior medida en campo.

**Tabla 4.** Escala de calificación para altura libre inferior

Altura libre inferior (h) en m *	Calificación
$h \leq 1.5$	5
$1.5 < h \leq 3.0$	4
$3.0 < h \leq 4.5$	3
$4.5 < h \leq 6.0$	2
$0.0 < h$	1

\* Medición en campo, este valor se divide entre 2 cuando no hay evidencia del nivel de agua

Posteriormente se verifica la relación aguas arriba y aguas abajo, la altura libre inferior y el ángulo de ataque del agua, para determinar alguna alerta a realizar sobre el puente.

Con estos datos, se calcula el HCI, escogiendo el mayor valor entre el riesgo hidrológico y el riesgo por inundación.

En resumen, la calificación del HCI se resume de la siguiente forma:

Valor de HCI	Código de color	Descripción
1 a 2		La estructura presenta una amenaza de inundación baja
2 a 3		La estructura presenta una amenaza de inundación media
3 a 4		La estructura presenta una amenaza de inundación media-alta
4 a 5		La estructura presenta una amenaza de inundación alta

### 3.1.4. Índice de importancia socioeconómica (SEI)

Para la priorización de posibles intervenciones en los puentes, no solamente es necesario el criterio técnico, sino que también se debe valorar la importancia de la estructura.

Para las rutas cantonales, la importancia socioeconómica se determinará por medio de la importancia socioeconómica de la zona.

La **Importancia Socioeconómica** se calculará con base en el IVTS (índice de viabilidad técnico social), este índice es calculado por cada Municipalidad de acuerdo con lo establecido en Manual de especificaciones técnicas para realizar el inventario y evaluación de la Red Vial Cantonal. (Decreto No. 38578-MOPT- 21-10-2014)

El IVTS sirve para determinar la importancia relativa de una calle o camino dentro de un cantón, distrito o región, de condiciones similares. El IVTS se calcula con base en la información recopilada mediante el inventario socioeconómico. La cuantificación de cada uno

de los criterios ahí considerados permite la obtención de un índice relativo entre 0 y 100, que indica el grado de importancia de la vía. Entre mayor es el índice, mayor importancia revisten el camino o calle en estudio.

Para asignar un nivel de priorización y mantener una escala de 1 a 5 en concordancia con el cálculo de los indicadores, se propone la escala de tabla 5.

**Tabla 5.** Nivel de priorización y valoración del IVTS

Nivel de prioridad	Valor IVTS	Puntuación a asignar
1	90 a 100	5
2	70 a 89	4
3	50 a 69	3
4	30 a 49	2
5	0 a 29	1

Para rutas nacionales la definición de la importancia socioeconómica se hace con base al TPD.

**Tabla 6.** Escala para la definición de la importancia económica del puente

Importancia	Descripción	Características
1	Importancia socioeconómica baja	Otras rutas
2	Importancia socioeconómica media	Ruta terciaria o TPD mayor a 5 mil vehículos
3	Importancia socioeconómica media - alta	Ruta secundaria o TPD mayor a 20 mil vehículos
4	Importancia socioeconómica alta	Ruta primaria o TPD mayor a 50 mil vehículos
5	Importancia socioeconómica extrema	Ruta primaria estratégica con TPD mayor a 50 mil vehículos

En resumen, la calificación del SEI se resume de la siguiente forma:

Valor de HCI	Código de color	Descripción
1 a 2		La estructura presenta una importancia socioeconómica baja
2 a 3		La estructura presenta una importancia socioeconómica media
3 a 4		La estructura presenta una importancia socioeconómica media-alta
4 a 5		La estructura presenta una importancia socioeconómica alta

### Calculo BHI

Finalmente, para el cálculo de BHI, se toman en consideración el BCI (estructural) y los BCI por sismo e hidrometeorológico (SCI y HCI), escogiendo el valor más crítico de estos dos, a este valor se le denominará criticidad.

Con los valores de criticidad y la importancia socioeconómica, se determina el valor del BHI del puente.

**Tabla 7.** Matriz para cálculo del BHI

		Criticidad				
		1	2	3	4	5
Importancia	1	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
	2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
	3	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	4	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
	5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Para el cálculo del BHI, se introduce el valor de la importancia socioeconómica en la columna y la criticidad del puente, que es el valor mayor entre el BCI, SCI y HCI.

Esta metodología pretende dar herramientas para los tomadores de decisiones, generando escenarios que permitan analizar la vulnerabilidad y las amenazas presentes, incorporando la importancia socioeconómica. La vulnerabilidad se analiza mediante la condición del puente (valor de BCI) y las amenazas mediante el SCI y el HCI.

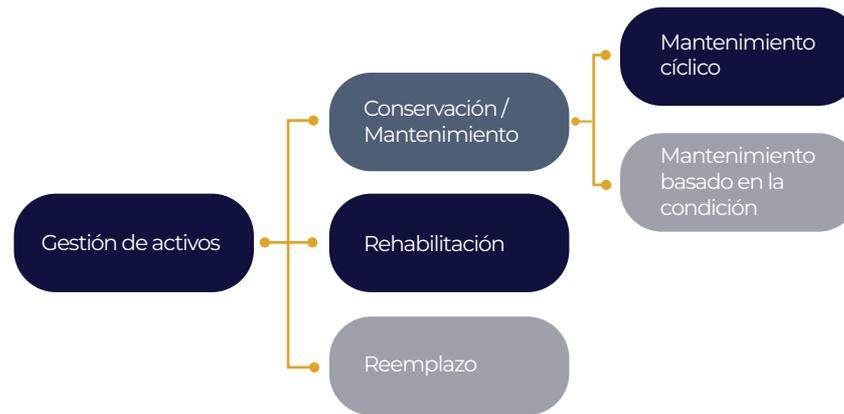
Los valores del BHI se pueden analizar de la siguiente forma:

Valor de BCI	Código de color	Clasificación	Descripción
1 a 2		<b>Satisfactoria</b>	La estructura presenta una prioridad de atención baja
2 a 3		<b>Aceptable</b>	La estructura presenta una prioridad de atención media
3 a 4		<b>Inaceptable</b>	La estructura presenta una prioridad de atención media-alta
4 a 5		<b>Deficiente</b>	La estructura presenta una prioridad de atención alta

### Paso 4. Análisis de BCI para agrupar por tipo de intervención

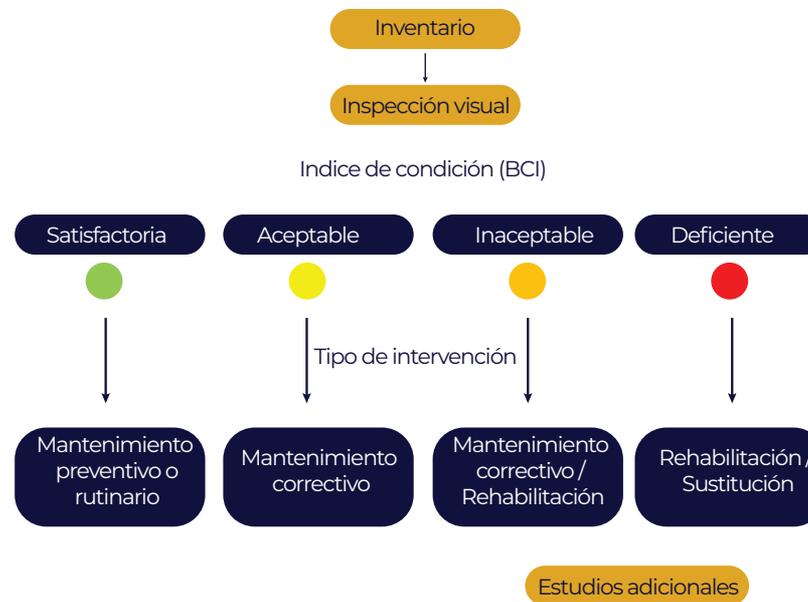
El valor del BCI, representa la vulnerabilidad presente en el puente y es finalmente lo que podemos controlar y mejorar, por lo tanto, con base en los valores obtenidos para el BCI se puede generar una primera agrupación para determinar el tipo de intervención.

La gestión de activos, según la FHWA [9] propone varias categorías de intervención que se relación con su condición, en la figura 9 se muestra esa clasificación.



**Figura 9.** Categoría de intervención de puentes (FHWA, 2018)

Estas categorías se pueden relacionar con la condición de la estructura del puente (BCI), para lo cual se propone el siguiente esquema:



**Figura 10.** Propuesta de intervenciones según el valor del BCI

Con base en esta propuesta para los valores de BCI igual o mayores a 3 y cuando a juicio del ingeniero experto sea incierta el tipo de intervención recomendada, se deberán realizar estudios adicionales para determinar el tipo de intervención.

**Tabla 8.** Tipo de intervención según valor del BCI

Valor de BCI	Intervención recomendada
1–2	Mantenimiento rutinario
2–3	Mantenimiento correctivo
3–4	Incierto
4–5	Incierto

Para los puentes con valores de BCI menor que 3, se recomendarán actividades de conservación relacionados con mantenimiento ya sea rutinario o correctivo. Para los puentes con valores de BCI mayor a 3, se deberá hacer un análisis exhaustivo para recomendar las posibles acciones, ya que podrían ser mantenimiento correctivo, rehabilitación o sustitución.

## Paso 5. Inspección detallada

Para los puentes en condición inaceptable y deficiente, es necesario realizar un análisis de cada uno de forma detallada y esto puede requerir una inspección detallada sobre la estructura.

La inspección detallada es un diagnóstico de la estructura, incluye no sólo inspecciones a fondo de la estructura, sino que también puede involucrar estudios exploratorios, caracterización de las condiciones existentes en sitio, caracterización de los materiales, modelación estructural. El alcance de los estudios a realizar dependerá de los resultados y las patologías identificadas en la evaluación visual de daños.

Una inspección detallada debe incluir:

- Análisis de antecedentes (estudios previos, reportes)
- Análisis de la evaluación visual de daños
  - Identificación de elementos primarios y secundarios
  - Identificación de daños en los elementos
- Levantamiento en sitio de la estructura
- Definir y ejecutar el enfoque la inspección: análisis global, análisis de superestructura, análisis de subestructura, análisis de factores externos
- Establecer las intervenciones a realizar, proporcionando la información necesaria para el establecimiento de una contratación

### Análisis de antecedentes

Es necesario realizar una investigación de estudios previos, reportes de prensa, consulta a profesionales involucrados en el diseño, rehabilitación o inspección de la estructura, esto con el fin de enmarcar los posibles problemas que pueda tener la estructura.

### Análisis de la evaluación visual de daños

Para una inspección detallada es necesario contar con el inventario del puente y en caso de que la inspección visual de daños haya sido efectuada hace más de dos años, debe actualizarse y realizarse primero una inspección rutinaria.

De esta inspección rutinaria o visual de daños, se deben identificar los daños encontrados, si se utiliza el manual de inspección de puentes del MOPT. Adicionalmente puede complementarse con la evaluación de la condición estructural de acuerdo con National Bridge Inventory (NBI) de Estados Unidos, allí se puede valorar la estructura en forma general y valorar cada uno de los elementos.

El resultado de este apartado debe enfocarse en los puntos más críticos.

### **Levantamiento en sitio de la estructura**

En caso de existir planos se requiere corroborar los elementos existentes y sitio y actualizar en caso de ser necesario, en el caso de que no existan planos se debe hacer un levantamiento de la estructura.

### **Definir y ejecutar el enfoque de la inspección**

Se deben definir claramente los objetivos de la inspección y los estudios a realizar, entre los cuales pueden estar ensayos destructivos y no-destructivos sobre los elementos (caracterización), conteo de vehículos, análisis hidrológico e hidráulico, caracterización geotécnica, levantamientos topográficos y otros necesarios.

Es necesario establecer un plan de pruebas. Además, en este punto se debe incluir el modelaje estructural del puente, en algunos casos también se pueden incluir análisis específicos tales como fatiga o capacidad de carga.

### **Establecimiento de las intervenciones a realizar**

Se debe finalmente identificar la patología presente en la estructura, su posible fuente y además recomendar las intervenciones

necesarias y su valoración.

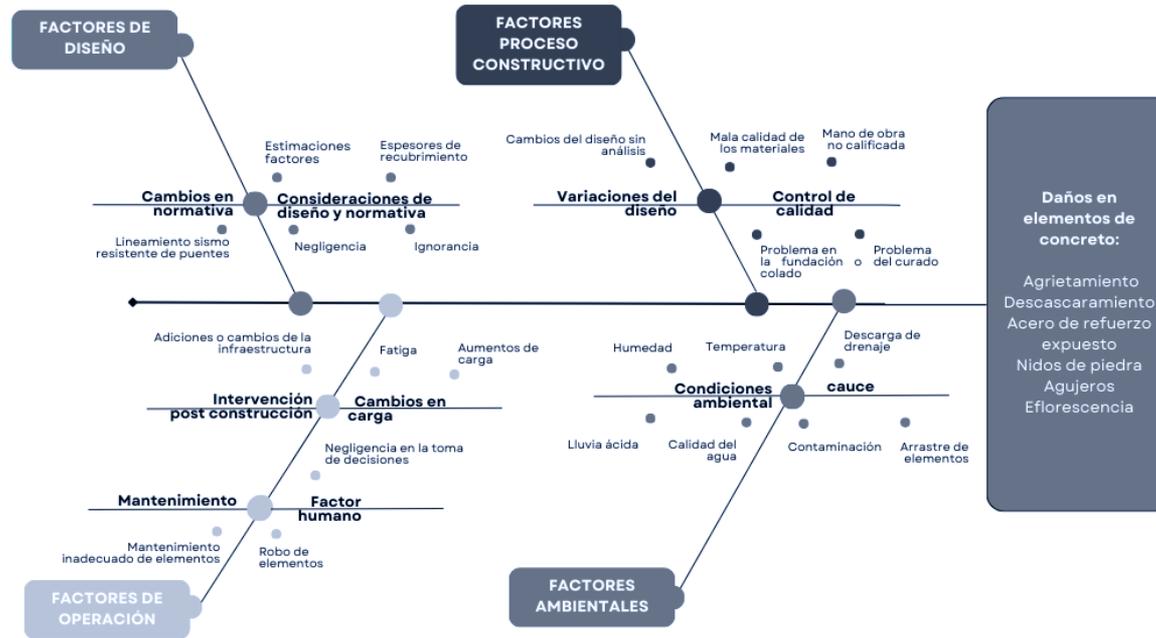
De esta inspección se pueden obtener algunos otros indicadores de condición estructural, tales como:

- Especificación de diseño
- Carga viva de diseño
- NBI Valoración de la condición

### **Paso 5.1. Análisis de patologías**

Para las estructuras con valor de BCI mayor o igual a 3, se debe realizar un análisis de causa raíz de cada uno de los daños identificados. Se analizarán en los componentes y elementos presentes en el puente, por cada una de las superestructuras identificadas, que tienen un aporte significativo en el desempeño estructural.

Para esos componentes, elementos y daños, se realizará un análisis de causa, previo a ese análisis particular, se recomienda el uso de la técnica de identificación de causa-raíz y el diagrama de ichikawa.



**Figura 11.** Diagrama ichikawa para análisis de causa de daños en elementos de concreto

En el diagrama mostrado en la figura 11, se observa que se definieron 4 factores o etapas en las que se podrían presentar los daños: diseño, proceso constructivo, operación y ambientales, entendido este último como los agentes externos que pueden provocar el daño.

Con base en este diagrama, se recomienda generar matrices para cada uno de los daños, las cuales contemplan:

- Descripción del daño: descripción del daño encontrado, se asocia con la metodología de evaluación.
- Factor o etapa: Etapa del ciclo de vida o factor del entorno.

- Efecto: Efecto que podría producir ese daño en el elemento, el componente y el puente en general.
- Posibles causas: Posibles causas del daño.
- Posibles subcausas: Posibles subcausas del daño.
- Verificación: Ensayo o estudio que permita verificar las causas o subcausas.

A continuación, se muestra un ejemplo de matriz, para el análisis del daño de agrietamiento en elementos de concreto.

**Tabla 9.** Análisis de causa para el daño agrietamiento

Descripción del daño	Factor/Etapa	Efecto	Posibles causas	Posibles subcausas	Verificación
Grietas en dirección definida	Diseño	Aumento de esfuerzos	Aumento en las cargas	Cambios en las condiciones de diseño original	Revisión de diseño con normativa y condiciones actuales
		Comportamiento inadecuado de la estructura	Consideraciones de diseño	Subestimación de factores: diseño inadecuado de elementos, espesores de recubrimiento inadecuados	Revisión de diseño con normativa actual
Grietas aleatorias en varias direcciones	Proceso constructivo	Cambio en los esfuerzos esperados	Variaciones del diseño	Cambios en el diseño sin análisis	Revisión del comportamiento de la estructura (modelado)
		Daño adelantado en los elementos	Control de calidad	Baja calidad de materiales	Extracción de muestras y verificación en laboratorio: Testigos de concreto, probetas de acero.
				Problemas en la colocación del acero de refuerzo	Ensayo ubicación de acero: pachómetro.
				Problemas en el colado del concreto	GPR, ultrasonido
Problemas en el curado del concreto	Ultrasonido				



Volver a la tabla  
de contenidos

Una vez analizados cada uno de los daños, por componente y elemento, se generará un plan de muestreo, que incluirá los estudios o ensayos a realizar, la ubicación de cada uno de ellos y la cantidad.

Con el resultado de estos análisis se analizará si la posible causa identificada es correcta.

## Paso 6. Análisis de riesgo

Se debe realizar un análisis de los índices de condición sísmica (SCI) y condición hidrometeorológica (HCI) para valorar el nivel de riesgo y que la intervención sea rentable en el tiempo

## Paso 7. Recomendación de intervención

Una vez clara la posible causa de los daños, se propondrá una intervención que atienda las causas y no los daños.

---

# Recomendaciones finales

Esta metodología es una herramienta que permitirá un análisis integral de las estructuras, tratando de optimar la inversión en los recursos, enfocándose en soluciones duraderas en el tiempo.

La aplicación de esta metodología requiere de profesionales competentes en la temática y un trabajo articulado con especialistas en el análisis y valoración de materiales.

---

---

# Bibliografía

- [1] World Economic Forum. (2020). Committed to improving the state of the World. Annual Report. 2019-2020.
- [2] Ortiz, G. & Otros. (2019). Programa de Evaluación de Puentes. Informe sobre inventario de puentes 2014-2018. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/07/17/tecnologico-presento-informe-estado-puentes-pais> . 2019.
- [3] Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). 2007. Lineamientos para el mantenimiento de puentes.
- [4] Federal Highway Administration (FHWA). (2016). Synthesis of National and International Methodologies Used for Bridge Health Indices. PUBLICATION NO. FHWA-HRT-15-081. Mayo 2016.
- [5] Wenzel, H. (2009). Health Monitorin of Bridges. Austria: John Wiley & Sons, Ltda.
- [6] Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). 2007. Manual de Inspección de Puentes.
- [7] Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes. 2013.
- [8] Ortiz-Quesada, G; Garita-Rodríguez, C; Navarro-Mora, A; Paez-González, G; Alfaro-Acuña, A. Diseño de un índice de salud estructural de puentes para priorización de intervenciones técnicas en Costa Rica. Tecnología en Marcha. Vol. 37, No 2. Abril-Junio, 2024. Pág. 156-166. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.6718>
- [9] Federal Highway Administration (FHWA). (2018). Bridge Preservation Guide. Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility. 2018.
-

# Apéndices

## Fichas del indicador BCI

<b>CODIGO</b>	BCI	FECHA DE ACTUALIZACION	Mes, año										
<b>NOMBRE</b>	Índice de condición estructural del puente												
<b>DESCRIPCION</b>	Este indicador muestra la condición general del puente considerando los daños principales en sus accesorios, superestructura y subestructura. La ponderación para el cálculo de este indicador es: 5% para los accesorios, 45% para la superestructura y 50% para la subestructura.												
<b>FORMA DE CALCULO</b>	$BCI = 5\% BCI_{\text{Accesorios}} + 45\% BCI_{\text{Superestructura}} + 50\% BCI_{\text{Subestructura}}$												
<b>INTERPRETACION</b>	Este indicador muestra la condición general del puente. Calificando con 1 para una condición excelente, el rango de 2 a 3, una condición regular (aceptable e insatisfactorio) y el rango de 4 a 5 una condición deficiente. Para la condición excelente se considera que el puente requiere mantenimiento cíclico, condición regular mantenimiento basado en la condición o rehabilitación y para condición deficiente rehabilitación o sustitución.												
<b>CARACTERISTICAS</b>	PERIODICIDAD	Cada 2 años como máximo											
	FUENTE DE INFORMACION	Evaluación visual de daños											
	RESPONSABLE	XXXX											
	FORMA DE REPRESENTACION	Gráfico											
	USOS	Conocer la condición general del puente para asignación de recursos ya sea para la asignación de estudios adicionales o para intervención.											
<b>OBSERVACIONES</b>	Este indicador muestra en forma agrupada la condición del puente basada en sus daños principales. Este indicador considera el estado más crítico del puente.												
<b>VALOR A CONSEGUIR</b>	1	RANGO ACEPTABLE	2-3										
<b>EJEMPLO</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 30px;">1</td> <td style="background-color: #76b82a; color: white; text-align: center; padding: 5px;">Satisfactoria</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="background-color: #f1c40f; color: white; text-align: center; padding: 5px;">Aceptable</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="background-color: #f39c12; color: white; text-align: center; padding: 5px;">Insatisfactorio</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="background-color: #e74c3c; color: white; text-align: center; padding: 5px;">Deficiente</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td></td> </tr> </table>			1	Satisfactoria	2	Aceptable	3	Insatisfactorio	4	Deficiente	5	
1	Satisfactoria												
2	Aceptable												
3	Insatisfactorio												
4	Deficiente												
5													

## Formularios MOPT

INVENTARIO DE PUENTE															
NOMBRE DEL PUENTE				LOCALIZACIÓN	PROVINCIA			ENCARGADO				DÍA	MES	AÑO	
RUTA N°		RUTA			CANTÓN			LATITUD NORTE				FECHA DE DISEÑO			
KILÓMETRO					DISTRITO			LONGITUD OESTE				FECHA DE CONSTRUCCIÓN			
ELEMENTOS BÁSICOS				UBICACIÓN				VISTA PANORÁMICA							
DIRECCIÓN DE LA VÍA HACIA															
TIPO DE ESTRUCTURA															
CARGA VIVA															
LONGITUD TOTAL															
ESPECIFICACIÓN															
No. DE SUPER ESTRUCTURA															
No. DE TRAMOS															
No. DE SUBESTRUCTURA															
LONGITUD DE DESVÍO															
PENDIENTE LONGITUDINAL															
SERVICIOS PÚBLICOS	1				INSPECCIÓN VISUAL DE DAÑOS REALIZADAS										
	2				DÍA	MES	AÑO	INSPECTOR		TIPO DE INSPECCIÓN					
	3														
	4														
CRUZA SOBRE	1														
	2														
PAVIMENTO	TIPO														
	ESPESOR	ORIGINAL													
		SOBRE CAPA													
CONTEO DE TRÁFICO	AÑO														
	TOTAL DE VEHÍCULOS														
	% VEHÍCULOS PESADOS														
RESTRICCIONES	POR CARGA														
	POR ALTURA														
	POR ANCHO														
CLARO LIBRE															
ALTURA LIBRE VERTICAL	SUPERIOR			ANCHO VIA ACCESO											
	INFERIOR														
DIMENSIONES															
ANCHO TOTAL		CALZADA													
ITEMS	1	2	3	4	5	6	7								
W(m)															
H(m)															

INVENTARIO DE PUENTE																
NOMBRE DEL PUENTE				LOCALIZACIÓN	PROVINCIA				ENCARGADO				DÍA	MES	AÑO	
RUTA N°		RUTA			CANTÓN				LATITUD NORTE				FECHA DE DISEÑO			
KILÓMETRO						DISTRITO				LONGITUD OESTE				FECHA DE CONSTRUCCIÓN		
OBSERVACIONES DEL INVENTARIO BÁSICO																

INVENTARIO DE PUENTE											
NOMBRE DEL PUENTE		LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	ENCARGADO				DÍA	MES	AÑO	
RUTA N°	RUTA		CANTÓN	LATITUD NORTE			FECHA DE DISEÑO				
KILÓMETRO			DISTRITO	LONGITUD OESTE			FECHA DE CONSTRUCCIÓN				
DETALLE DE SUPERESTRUCTURA											
No. DE SUPERESTRUCTURA	No. DE TRAMOS	ALINEACIÓN DE PLANTA	VIGAS PRINCIPALES DE SUPERESTRUCTURA								
			MATERIAL	SUPERESTRUCTURA	TIPO	LONGITUD TOTAL	TRAMO MÁXIMO	N° VIGAS	ALTURA		
No. DE SUPERESTRUCTURA	TIPO JUNTAS DE EXPANSIÓN		LOSA		CARACTERÍSTICAS DE PINTURA						
	UBICACIÓN INICIAL	UBICACIÓN FINAL	MATERIALES	ESPESOR	TIPO DE PINTURA	ÁREA PINTADA	ÚLTIMA PINTURA			EMPRESA ENCARGADA	
							DÍA	MES	AÑO		
OBSERVACIONES SOBRE LA SUPERESTRUCTURA											

INVENTARIO DE PUENTE													
NOMBRE DEL PUENTE		LOCALIZACIÓN			PROVINCIA	ENCARGADO			DÍA	MES	AÑO		
RUTA N°	RUTA				CANTÓN	LATITUD NORTE			FECHA DE DISEÑO				
KILÓMETRO					DISTRITO	LONGITUD OESTE			FECHA DE CONSTRUCCIÓN				
DETALLE DE SUBESTRUCTURAS													
BASTIÓN - PILA					FUNDACIÓN					APOYO			
NOMBRE	MATERIALES	TIPO BASTION	ALTURA	TIPO PILA	DIMENSIONES		TIPO	DIMENSIONES		TIPO PILOTES	TIPO		ANCHO DE ASIENTO
					ANCHO	LARGO		ANCHO	LARGO		INICIAL	FINAL	
OBSERVACIONES SOBRE LA SUBESTRUCTURA													

INVENTARIO DE PUENTE														
NOMBRE DEL PUENTE				LOCALIZACIÓN	PROVINCIA		ENCARGADO				DÍA	MES	AÑO	
RUTA N°		RUTA			CANTÓN		LATITUD NORTE				FECHA DE DISEÑO			
KILÓMETRO					DISTRITO		LONGITUD OESTE				FECHA DE CONSTRUCCIÓN			
PLANOS														
PLANTA Y PERFIL														



INSPECCIÓN DE PUENTE				NÚMERO DE SUPERESTRUCTURA												
NOMBRE DEL PUENTE				LOCALIZACIÓN	PROVINCIA				ENCARGADO				DÍA	MES	AÑO	
RUTA N°		RUTA			CANTÓN				LATITUD NORTE				FECHA DE DISEÑO			
KILÓMETRO					DISTRITO				LONGITUD OESTE				FECHA DE CONSTRUCCIÓN			
TIPO DE DAÑO Y EVALUACIÓN DEL GRADO DE DAÑO																
1. PAVIMENTO	ITEM	1. ONDULACIÓN	2.ZURCOS	3.AGRIETAMIENTO	4.BACHES	5.SOBRECAPAS DE ASPALTO										
	EVALUACIÓN															
2. BARANDA (ACERO)	ITEM	1.DEFORMACIÓN	2.OXIDACIÓN	3.CORROSIÓN	4.FALTANTE											
	EVALUACIÓN															
3. BARANDA (CONCRETO)	ITEM	1.AGRIETAMIENTO	2.ACERO DE REFUERZO	3.FALTANTE												
	EVALUACIÓN															
4. JUNTA DE EXPANSIÓN	ITEM	1.SONIDOS EXTRAÑOS	2.FILTRACIÓN DE AGUAS	3.FALTANTE O DEFORMACIÓN	4.MOVIMIENTO VERTICAL	5.JUNTAS OBSTRUÍDAS	6.ACERO DE REFUERZO									
	EVALUACIÓN															
5. LOSA	ITEM	1.GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2.GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3.DESCASCAMIENTO	4.ACERO DE REFUERZO	5.NIDOS DE PIEDRA	6.EFLORENCIA	7.AGUJEROS								
	EVALUACIÓN															
6. VIGA PRINCIPAL DE ACERO	ITEM	1.OXIDACIÓN	2.CORROSIÓN	3.DEFORMACIÓN	4.PÉRDIDA DE PERNOS	5.GRIETAS EN SOLDADURA O										
	EVALUACIÓN															
7. SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO	ITEM	1.OXIDACIÓN	2.CORROSIÓN	3.DEFORMACIÓN	4.ROTURA DE UNIONES	5.ROTURA DE ELEMENTOS										
	EVALUACIÓN															
8. PINTURA	ITEM	1.DECOLORACIÓN	2.AMPOLLAS	3.DESCASCAMIENTO												
	EVALUACIÓN															
9. VIGA PRINCIPAL DE CONCRETO	ITEM	1.GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2.GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3.DESCASCAMIENTO	4.ACERO DE REFUERZO	5.NIDOS DE PIEDRA	6.EFLORENCIA									
	EVALUACIÓN															
10. VIGA DIAFRAGMA CONCRETO	ITEM	1.GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2.GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3.DESCASCAMIENTO	4.ACERO DE REFUERZO	5.NIDOS DE PIEDRA	6.EFLORENCIA									
	EVALUACIÓN															
11. APOYOS	ITEM	1.ROTURA DE APOYOS	2.DEFORMACIÓN EXTRAÑA	3.INCLINACIÓN	4.DESPLAZAMIENTO											
	EVALUACIÓN															
12. PARED CABEZAL Y ALETONES (BASTIONES)	ITEM	1.GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2.GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3.DESCASCAMIENTO	4.ACERO DE REFUERZO	5.NIDOS DE PIEDRA	6.EFLORENCIA	7. PROTECCIÓN DE TERRAPLÉN								
	EVALUACIÓN															
13. CUERPO PRINCIPAL (BASTION)	ITEM	1.GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2.GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3.DESCASCAMIENTO	4.ACERO DE REFUERZO	5.NIDOS DE PIEDRA	6.EFLORENCIA	7.PENDIENTE EN TALUDES	8.INCLINACIÓN	9.SOCAVACIÓN						
	EVALUACIÓN															
14. MARTILLO (PILA)	ITEM	1.GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2.GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3.DESCASCAMIENTO	4.ACERO DE REFUERZO	5.NIDOS DE PIEDRA	6.EFLORENCIA									
	EVALUACIÓN															
15. CUERPO PRINCIPAL (PILA)	ITEM	1.GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2.GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	3.DESCASCAMIENTO	4.ACERO DE REFUERZO	5.NIDOS DE PIEDRA	6.EFLORENCIA	7.INCLINACIÓN	8.SOCAVACIÓN							
	EVALUACIÓN															
FECHA INSPECCIÓN		NOMBRE INSPECTOR			FIRMA											

INSPECCIÓN DE PUENTE				NÚMERO DE SUPERESTRUCTURA												
NOMBRE DEL PUENTE				LOCALIZACIÓN	PROVINCIA				ENCARGADO				DÍA	MES	AÑO	
RUTA N°		RUTA			CANTÓN				LATITUD NORTE				FECHA DE DISEÑO			
KILÓMETRO					DISTRITO				LONGITUD OESTE				FECHA DE CONSTRUCCIÓN			
OBSERVACIONES																

INSPECCIÓN DE PUENTE										NÚMERO DE SUPERESTRUCTURA		
NOMBRE DEL PUENTE		LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	ENCARGADO			DÍA	MES	AÑO			
RUTA N°			CANTÓN	LATITUD NORTE			FECHA DE DISEÑO					
KILÓMETRO			DISTRITO	LONGITUD OESTE			FECHA DE CONSTRUCCIÓN					
FOTOGRAFÍAS												
No.	UBICACIÓN		No.	UBICACIÓN		No.	UBICACIÓN					
									NOTA			DÍA MES AÑO
No.	UBICACIÓN		No.	UBICACIÓN		No.	UBICACIÓN					
									NOTA			DÍA MES AÑO
No.	UBICACIÓN		No.	UBICACIÓN		No.	UBICACIÓN					
									NOTA			DÍA MES AÑO